



TITLE:

Dynamics of active deformable particle -  
Two types of active spinning motions and  
dynamics in external flow field -( Abstract\_要  
旨 )

AUTHOR(S):

Tarama, Mitsusuke

---

CITATION:

Tarama, Mitsusuke. Dynamics of active deformable particle - Two types of active spinning motions and dynamics in external flow field -. 京都大学, 2015, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18782>

RIGHT:

( 続紙 1 )

京都大学	博 士 ( 理 学 )	氏名	多羅間充輔
論文題目	Dynamics of active deformable particle - Two types of active spinning motions and dynamics in external flow field - (アクティブソフトマターのダイナミクス - 2 種類の自転運動と流れの中での運動-)		
(論文内容の要旨)			
<p>生物は、駆動力を自ら作り出して、運動する。生物でなくても、駆動力の生成機構を内在する物質は自然現象に数多くみられる。このような物質をアクティブマターとよび、その運動の様相や機構を解明することを通じて、生物を含む様々な系の性質を明らかにしようとする研究が活発になっている。</p> <p>ところで、化学反応で得たエネルギーから駆動力を生成する機構には多様な可能性があり、全ての物質の全ての現象を一貫して理解する段階ではなく、まず研究の焦点を明示的にする必要がある。例えば、典型的な物質とターゲットとなる現象をひとつ決めて、それを徹底的に解析するのがひとつの標準的な研究方法であろう。しかしながら、多羅間氏が選んだ研究方法はそれと対照的である。すなわち、数理的に最小の記述によって与えられるモデルの普遍性をよりどころとし、未知の現象を含む膨大な可能性を調べつくし、それらを分類することにより、新しい理解を得ようとする。具体的に、この学位論文では、形の変形を伴って自発的に運動するやわらかい粒子を「アクティブソフトマター」とよび、そのダイナミクスに焦点があてられる。第1章でそのトピックスに至る背景が述べられる。</p> <p>第2章では、アクティブソフトマターのダイナミクスを記述するために、重心自由度についての位置と速度、粒子の回転の他に形の変形を力学変数として考える。これらが力学変数の全てであるという仮定のもとで、対称性の考察にもとづく一般論により、可能な運動方程式が決まる。この運動方程式において、アクティブな運動の発生を力学系の分岐として捉えることで単純化し、その運動を分類する。この方針の研究は従来よりなされているが、多羅間氏はこれまで見落とされていた新しい運動の形態を報告している。第2章は、それ以降の章の基本設定という位置づけも担っている。</p> <p>第3章と第4章では、アクティブソフトマターの自転運動が解析される。自転運動が観測される現象は様々あるが、詳細な機構に踏み込む前に、大きく2種類に分けられることが示された。すなわち、剛体回転に対応するタイプIの自転運動と粒子界面上を変形が伝搬するタイプIIの自転運動である。二つのタイプは異なるクラスの運動方程式に従うことを明晰に示し、それぞれの自転運動の特徴を明らかにした。</p> <p>第5章と第6章では、流れの中にアクティブソフトマターがあるときの運動に焦点があてられる。アクティブマターは流体中にあることが多いので、自らがつくる自発的な運動と外部の流れによって引き起こされる受動的な運動との相互関係を明らかにしたい、という動機にもとづいた課題である。まず、第5章では、もっとも簡単な場合として、線形剪断流中下でのアクティブソフトマターの運動が理論的数値的に解析される。具体的には、剪断比が小さいときは、流れのないときの運動と流れによる輸送とが重ね合わさった運動が見られるが、剪断比が比較的大きいときには、粒子のやわらかさに応じて流れによる回転の効果を打ち消して直線的な運動をすることが見出された。第6章は、さらに複雑な例として、渦巻き流下でのアクティブソフトマターの運動が調べられる。定常解の理論的解析の他、渦巻き流によるアクティブマターの「散乱実験」が数値的に行われる。その結果、変形と自発速度とが平行になる傾向があるときには、常に散乱される一方、変形と自発速度が垂直になる傾向がある粒子</p>			

(続紙 2 )

は、散乱される以外に、有限の幅の衝突径数に対して安定に流れに捕われるという現象が生じることが見出された。

第7章では、論文全体がまとめられ、今後に解決すべき問題などが議論される。

(論文審査の結果の要旨)

近年の活発な研究の状況をみても、自律的な運動をするアクティブマターに関する研究の重要性を理解することができる。特に、形の変形が重要な役割を果たすソフトマターのダイナミクスとアクティブマターのダイナミクスを統合的にとらえようとする研究方針は独特な位置になっている。また、力学変数を同定した後で対称性にもとづく考察を行うのは、現象の分類という点において特に有効な方法である。この研究方針を徹底することで、様々な状況において、新しい現象を積極的に見出し、体系的に整理しようとする問題設定は健全である。

第3章と第4章において自転運動を二つに分類したのは、このアプローチだからこそ明晰になされたと考えられる。すなわち、運動の機構を物質の様々な詳細から離れ、微分方程式の数理的な構造に焦点をあてることで、二つのタイプの違いが明白に分かるようになる。実験観察によって様子が異なることは予想できたとしても、それが単なる程度の問題ではないことを納得することはこの方法以外では難しいであろう。

それに対し、第5章と第6章の結果は、流れの場におかれたアクティブソフトマターの運動という複雑な状況に展開しようとする第一歩と見ることができる。実際、この状況の全てを正確に記述すると考えられる数理モデルを解析するのは絶望的である。そのようなときでも、現象の本質を捉える最小のモデルを提案することで、新しい可能性を探ることができる。そのことを具体的に示した結果だと位置づけられる。特に、散乱実験における捕捉現象は、予想することができない興味深いものである。

本学位論文の結果は、アクティブソフトマターのダイナミクスについて、様々な展開を可能にする。より長期的な視野にたつならば、細胞などの生物を含む非平衡状態にある粒子の運動を理解するという基礎科学的な重要性の他に、近年盛んに研究されている生体内中のミクロスケールのドラッグデリバリーシステムのデザインなどの応用の際の手がかりを与えとも期待される。

以上のように、本学位論文は学術的に有意義であるが、残された課題も多い。このアプローチの短所として、どうしても実験との対応が直接的でなく、定量的な予言能力が乏しくなる。また、流体力学効果など、最初に考慮に入れられない自由度が現象に及ぼす影響についても考察することができない。これらについては、本学位論文における方法とは相補的なアプローチを併用することで、特定の現象について総合的に理解していく必要があるだろう。また、より普遍性が高く、より大きな結果を見出すことでも、このアプローチの意義を見せることもできる。これらは今後さらに研究されていくだろうし、本論文が与えた課題として見るべきものかもしれない。

主論文は104ページにわたって丁寧に書かれており、背景、結果、今後の展望が明確に表現されている。これまでに述べたように、アクティブソフトマターのダイナミクスについての新しい知見を与えるものと判断する。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成26年12月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。